

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-027776
 (43)Date of publication of application : 30.01.1990

(51)Int.Cl.

H01L 31/09
 G01T 3/08

(21)Application number : 63-176415

(71)Applicant : FUJI ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 15.07.1988

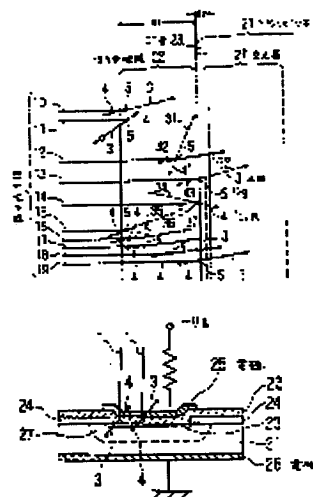
(72)Inventor : SATO NORITADA

(54) SEMICONDUCTOR NEUTRON BEAM DETECTOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To effectively utilize generated α -ray or ^7Li nuclei to generate electron-hole pairs by reducing the thickness of a boron film containing concentrated isotope ^{10}B on an N-type semiconductor substrate thinner than the pass length in the boron film of the α -ray.

CONSTITUTION: An N-type semiconductor substrate 21 is covered with a boron film 22 containing concentrated isotope ^{10}B . In a neutron beam detector having a P-type doping layer 23a under the film 22, the thickness of the film 22 is thinner than the pass length in the boron film of the α -ray. The pass length of the α -ray in the film 22 is approx. $4.4\mu\text{m}$, the pass length of ^7Li nuclei is approx. $1.4\mu\text{m}$ extremely short. Accordingly, if the film 22 is excessively thick, the α -ray and ^7Li nuclei generated near the surface of the boron film are merely absorbed into the boron film, and not arrived at a depleted layer 27. Then, if the thickness of the boron film is longer than the case of the ^7Li and thinner than the pass length of the boron film of the α longer than the case of the ^7Li nuclei, almost all of the α -ray flying at least to a depleted layer side contribute to the generation of electron-hole pairs, thereby improving neutron beam sensitivity.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

⑤ 日本国特許庁(JP)

⑥ 特許出願公開

⑦ 公開特許公報(A)

平2-27776

⑧ Int. Cl.³

識別記号

庁内整理番号

⑨ 公開 平成2年(1990)1月30日

H 01 L 31/09
G 01 T 3/08

8406-2G
7522-5F

H 01 L 31/00

A

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全4頁)

⑩ 発明の名称 半導体中性子線検出素子

⑪ 特 願 昭63-176415

⑫ 出 願 昭63(1988)7月15日

⑬ 発 明 者 佐 藤 則 忠 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内

⑭ 出 願 人 富士電機株式会社 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

⑮ 代 理 人 弁理士 山口 巖

明 細 書

1. 発明の名称 半導体中性子線検出素子

2. 特許請求の範囲

1) n 形半導体基体上に誘導した同位元素¹⁰Bを含むほう素被膜が被着され、そのほう素被膜の下にp 形ドーピング層を有するものにおいて、ほう素被膜の厚さがα線のほう素被膜中での飛程より深いことを特徴とする半導体中性子線検出素子。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、熱中性子線が入射した際ほう素の同位元素¹⁰Bとの反応によって発生するα線を利用する半導体中性子線検出素子に関する。

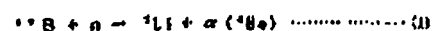
(従来の技術)

半導体放射線検出素子の原理は、pn 接合や半導体-金属ショットキー接合または半導体半導体と非晶質半導体とのヘテロ接合等、いずれかの方法でダイオード構造を形成し、そのダイオードに逆バイアス電圧を印加し、これにより半導体中に空乏層を惹き、この空乏層中に誘起した放射線に

より発生する電子-正孔対を電流パルスとしてカウントし検出するものである。

放射線でも、γ線、α線、β線をよびγ線は、半導体空乏層内で直接電子-正孔対を生じさせるのでそのまま放射線の検出が可能である。これに対して中性子線は電荷をもっていないので、核反応以外には軌道電子や電子核のクーロン場になんらの作用も及ぼさず、従って半導体空乏層内で電子-正孔対は生じず、中性子線の検出は上記の方法では不可能である。このため中性子線検出方法として、中性子の吸収断面積の大きな物質に中性子線を透過させ、中性子核変換反応によりα線が発生させ、そのα線が半導体空乏層内で生成する電子-正孔対を検知することによる方法がある。

その具体的な例として、熱中性子線に対して散乱断面積の大きなほう素の同位元素¹⁰Bを用い、下記の式で示す反応に従って、熱中性子線が入射した際ほう素から発生するα線(4He)と⁷Li核を検出する方法がある。



第2図はこの方法を用いた、例えば特開昭01-17477号公報で公知の熱中性子検出素子の断面構造と検出原理を示すもので、 n 形シリコン基板21の上側を被覆する炭素被膜24の窓部に、例えば特開昭59-218732号公報、特開昭59-219462号公報により公知のように、プラズマCVD法で成膜されたほう素被膜22が接触し、その下に p^+ 層23が形成され、ほう素被膜22の上側に電極25が、基板21の下側に電極26が設けられている。この素子に逆バイアス $-V_0$ を印加して空乏層27が生じた状態で熱中性子線1が照射されると、ほう素被膜22に含まれる ^{10}B との間で(1)式の中性子検出反応が生じ、互いに 180° をなして飛出線28を示す α 線3または線4で示す 7Li 核4が空乏層27に到達したとき電子-正孔対が生じ、これらが図示していない増幅回路と計数回路を介して検出される。

この素子の中性子感度を高めるためには(1)式からわかるように ^{10}B の量を高めればよい。前記公報で公知のプラズマCVD法で成膜したほう素被

内に達して生ずる電子-正孔対の数を多くしなければならぬ。

本発明の目的は、 α 線および 7Li 核を多く発生させる手段ばかりでなく、発生した α 線あるいは 7Li 核を電子-正孔対の生成のために有効に利用する半導体中性子検出素子を提供することにある。

(課題を解決するための手段)

上記の課題の達成のために、本発明は、 α 形半導体基体上に堆積した同位元素 ^{10}B を含むほう素被膜が被着され、その被膜の下に p 形ドーピング層を有する中性子捕獲出素子において、ほう素被膜の厚さが α 線のほう素被膜中での飛程より薄いものとする。

(作用)

ほう素被膜中の α 線の飛程は約4.4 μ m、 7Li 核の飛程は約1.4 μ mと極めて短いので、ほう素被膜は厚過ぎると、ほう素被膜の表面近傍で生じた α 線と 7Li 核は単にほう素被膜中に吸収され空乏層に達しない。そこでほう素被膜の厚さを 7Li 核の

飛程のほう素濃度は 1.0×10^{18} 原子/cm²でほぼほう素濃度の原子密度に近い値に達している。したがって、別の本出願人の特許出願に係る特開昭62-323240号公報明細書に記載した通称 ^{10}B を含むジボランガスよりほう素被膜を厚く形成すれば高感度の中性子検出素子が得られる。

濃縮した ^{10}B を用いる方法としては、例えば、濃縮した ^{10}B を含む溶液をシリコンウエハに刷毛で塗布したのち、熱処理をして $p-n$ 接合を形成し、(1)式の反応を用いて熱中性子を検出する方法がH. Nara and P. J. Jasarekにより米国雑誌 I R E Trans., N S - 9, 403 (1962) 200ページ、 ^{10}B をシリコン基板表面にイオン注入法で注入したのち熱処理を施して $p-n$ 接合を形成する方法がI. G. Overdissellその他によりソ連雑誌 Prib. Tekh. Eksp., No. 3, (1975) 81 ページに述べられている。

(発明が解決しようとする課題)

上記のような方法で ^{10}B を多く含む被膜を形成し、(1)式による α 線を多く発生させた上にさらに感度を高めるためには、 α 線または 7Li 核空乏層

場合より長い α 線のほう素被膜の飛程より薄くすれば、少なくとも空乏層側に飛出 α 線のほとんどすべてが電子-正孔対の生成に寄与し、中性子線感度が向上する。

(実施例)

第1図は第2図に示したほう素被膜22、 p^+ 層23および空乏層27の部分拡大図で、ほう素被膜22は、 p^+ 層23は、 p^+ 層23の厚さを有するものとする。一方、ほう素被膜中での α 線2の飛程を L 、 7Li 核4の飛程を l 、とする。

今、ほう素被膜22の表面近傍で熱中性子線10、11が ^{10}B 5と反応して α 線3、 7Li 核4が発生した場合、 $l_1 > L$ 、 $l_1 > L$ 、とすると全ての α 線3と 7Li 核4はその被膜22内に吸収され、空乏層27に達しないので中性子感度に寄与しない。熱中性子線12が表面より深い位置で ^{10}B 5と反応した場合は α 線31、32、 7Li 核41、42のうち32のように空乏層27に例かう α 線のみが空乏層に到達し中性子感度に寄与する。また、熱中性子線13、14のように、ほう素被膜22と半導体基体21との界面近傍で ^{10}B 5

と反応した場合、 α 線3と ^3Li 核4は、43.34 のようなほう素被膜側に行くものを除き、ほぼ1/2 の確率で中性子感度に寄与する。

上述の説明からわかるように、ほう素被膜22の厚みd、が α 線や ^3Li 核のほう素被膜なかでの各々の行程1、2より深い場合は、15~19のような線量の熱中性子線がほう素被膜22中の ^{10}B と反応しても、15~17により生ずる α 線35,36,37のようにその被膜中に吸収されるものがあり、中性子感度に寄与するものは、被膜22と半導体基体21との界面近傍で ^{10}B と反応した熱中性子線17~19に生ずる α 線3と ^3Li 核4に吸収されるため中性子感度は低下する。

これらの事実を以下に式を用いて説明する。

(1) d, ≥ 1 の場合

厚みd、のほう素被膜に照射する中性子線の強度を1。(個/cm²・s)とすると、その被膜中で発生する α 線と ^3Li 核の空乏層に達する個数はそれぞれ、 $(1 - e^{-\mu_{\alpha}d})$ とあらわされる。ここでNはほう素被膜中の ^{10}B の数、 μ は ^{10}B の吸収断面積

として、中性子線単位断面積 ^{10}B を照射した時に得られた測定結果の相対比を示す、曲線62が曲線61と一致しない理由は、発生した α 線や ^3Li 核はある確率で空乏層に達することおよびp⁺層23の不透明のほかほう素被膜22の内部で生成した α 線や ^3Li 核にはほう素被膜が不透明となり、これらの不透明を通過したのち空乏層に達するため、最大出力パルス被高が小さくなること、そのほかには誘起する γ 線成分を除去するため、所定の大きさ以上の出力パルス被高のみを計数することなどによる。

第3図より、 ^{10}B を含むほう素被膜の厚さd、と熱中性子線感度の関係が明らかになり、最大熱中性子線感度はほう素被膜の厚さd、がほう素被膜中の α 線の行程1、より薄いとときに得られることが判明した。

(発明の効果)

本発明によれば、 ^{10}B を含むほう素被膜の厚さがほう素被膜中の α 線の行程を超えると熱中性子線感度が低下する事実に基づき、ほう素被膜の厚さを α 線の行程より薄くすることにより中性子感

度である。

(2) d, ≤ 1 の場合

ほう素被膜中で発生し空乏層に達する α 線の個数は1。 $(1 - e^{-\mu_{\alpha}d})$ と変わらないが、 ^3Li 核の個数は1。 $((1 - e^{-\mu_{\text{Li}}d}) - (1 - e^{-\mu_{\alpha}d}))$ になる。

(3) d, ≥ 1 の場合

熱中性子線との反応によりほう素被膜中で発生し空乏層に達する α 線および ^3Li 核の個数は、それぞれ1。 $((1 - e^{-\mu_{\alpha}d}) - (1 - e^{-\mu_{\text{Li}}d}))$ および1。 $((1 - e^{-\mu_{\alpha}d}) - (1 - e^{-\mu_{\text{Li}}d}))$ となる。

第3図の曲線61はd、=1.4 μm 、 μ = 1.4 cm⁻¹と仮定した時、上記(1)、(2)、(3)の数値から計算した結果を示すもので、横軸はほう素被膜の厚さを示し、たて軸は熱中性子線感度の相対比を示す。熱中性子線相対感度はd、の増大と共に増すものの、その傾斜は上記(1)、(2)、(3)の条件で変わる。曲線62は種々の厚みのほう素被膜を形成した中性子線検出素子に、厚み40 μm のポリエチレン被覆材を介

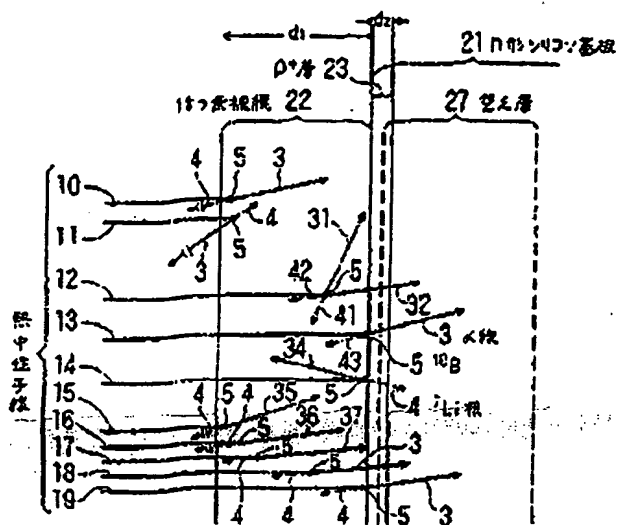
度の高い検出素子を得ることができる。したがって、従来のように不必要な厚い被膜を形成することがないので製造工程が簡便され、コストダウンが可能になった。また、本発明に基づくほう素被膜の最適厚みは、もちろんガスを用いた中性子検出用比例計数管の内壁に被覆する場合にも同様に適用できる。本発明で得られた熱中性子線検出素子は、所定の形状のパラフィンなど中性子線に対する被覆材とを組み合わせると軽量で小型の、従来は不可能であった個人用の高感度中性子線被膜管型用線量計が容易に得られるようになった。

4. 図面の簡単な説明

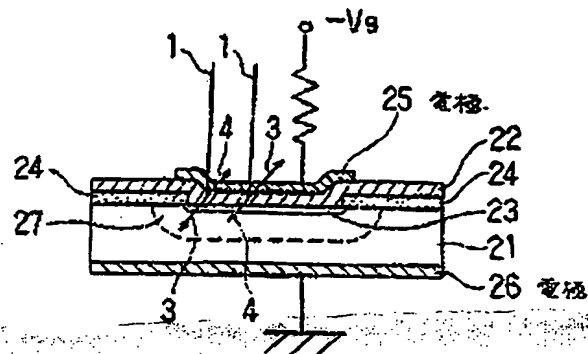
第1図は本発明の一実施例における熱中性子線と ^{10}B との反応発生部位付近を概念的に示す断面図、第2図は本発明の一実施例の検出素子の断面図、第3図はほう素被膜厚さと熱中性子線感度との関係を示す線図である。

10~19: 熱中性子線、21: n形シリコン基板、22: ほう素被膜、23: p⁺層、25, 26: 電極、27: 空乏層、3: α 線、4: ^3Li 核、5: ^{10}B 。

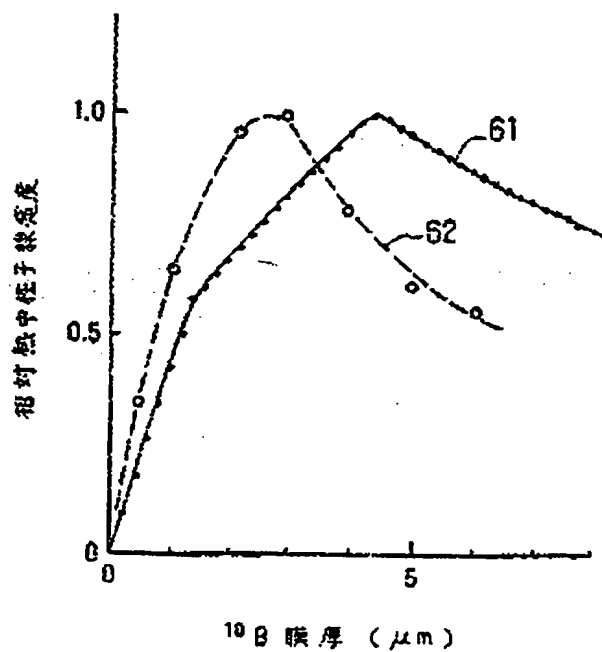
代理人 山 口 昌



第 1 図



第 2 図



第 3 図